

PAT-NO: JP02000317897A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000317897 A

TITLE: HEAT INSULATING STRUCTURE,
SEMICONDUCTOR MICROACTUATOR
USING THE SAME, SEMICONDUCTOR
MICROVALVE, AND
SEMICONDUCTOR MICRORELAY

PUBN-DATE: November 21, 2000

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
YOSHIDA, HITOSHI	N/A
TOMONARI, SHIGEAKI	N/A
KAWADA, HIROSHI	N/A
KAMAKURA, MASAARI	N/A
YOSHIDA, KAZUJI	N/A
KATAYAMA, HIRONORI	N/A
SAITO, KIMIYAKI	N/A
FUJII, KEIKO	N/A
TOYODA, KENJI	N/A
NOBUTOKI, KAZUHIRO	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD	N/A

APPL-NO: JP11304729

APPL-DATE: October 26, 1999

INT-CL (IPC): B81B003/00, F03G007/06 , F16K031/70 ,
H01H037/52 , H01L049/00
, H01H061/01

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a heat insulating structure having a high

heat insulating efficiency and manufactured through simple processes, a semiconductor microactuator using the same, a semiconductor microvalve, and a semiconductor microrelay.

SOLUTION: Four outwardly extending flexible areas 2 joined to a central moving element 5 are joined to a semiconductor substrate 3 via heat insulating areas 7 made from a heat insulating material such as polyimide or fluororesin, the semiconductor substrate 3 serving as a frame. The heat insulating areas 7 are provided within the thickness of the flexible area 2 between the semiconductor substrate 3 and the flexible area 2 in such a way as to be about as thick as the flexible area 2. When the flexible areas 2 are heated by heating means 6 consisting of impurity diffusion resistances or the like provided on the surfaces of the flexible areas 2, the flexible areas 2 flex because of a difference in thermal expansion from thin films 4 of aluminum or nickel provided on the flexible areas 2, and the movable element 5 is displaced.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-317897
(P2000-317897A)

(43) 公開日 平成12年11月21日 (2000. 11. 21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
B 8 1 B 3/00		B 8 1 B 3/00	
F 0 3 G 7/06		F 0 3 G 7/06	
F 1 6 K 31/70		F 1 6 K 31/70	Z
H 0 1 H 37/52		H 0 1 H 37/52	B
			G

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平11-304729	(71) 出願人	000005832 松下電工株式会社 大阪府門真市大字門真1048番地
(22) 出願日	平成11年10月26日 (1999. 10. 26)	(72) 発明者	吉田 仁 大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平11-45615	(72) 発明者	友成 恵昭 大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内
(32) 優先日	平成11年2月23日 (1999. 2. 23)	(74) 代理人	100087767 弁理士 西川 恵清 (外1名)
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

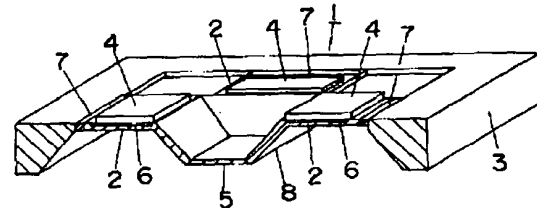
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱絶縁構造体及びこれを用いた半導体マイクロアクチュエータ及び半導体マイクロバルブ及び半導体マイクロリレー

(57) 【要約】

【課題】 熱絶縁効率が高く、かつ製造プロセスが簡単な熱絶縁構造体及びこれを用いた半導体マイクロアクチュエータ及び半導体マイクロバルブ及び半導体マイクロリレーを提供する。

【解決手段】 中央の可動エレメント5に接続され外方に延びる4つの可撓領域2がそれぞれポリイミド、フッ素化樹脂等の熱絶縁材料からなる熱絶縁領域7を介して、枠体となる半導体基板3に接合される。この熱絶縁領域7は、半導体基板3と可撓領域2との間の可撓領域2の厚み内に、可撓領域2とはほぼ同じ厚さで設けられている。可撓領域2上の表面に設けられた不純物拡散抵抗等よりなる加熱手段6により可撓領域2が加熱されると、この可撓領域2上に設けられたアルミニウム薄膜またはニッケル薄膜などからなる薄膜1との熱膨張差で可撓領域2が撓み可動エレメント5が変位する。



- 1 半導体マイクロアクチュエータ
- 2 可撓領域
- 3 半導体基板
- 4 薄膜
- 5 可動エレメント
- 6 加熱手段
- 7 熱絶縁領域
- 8 可撓部位

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板と、前記半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域とから構成されており、前記熱絶縁領域が前記可撓領域の厚み内に設けられることを特徴とする熱絶縁構造体。

【請求項2】 半導体基板と、前記半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、前記可撓領域から切り離され可撓領域の変位により変位する可動エレメントと、前記半導体基板と前記可撓領域との間及び前記可撓領域と前記可動エレメントとの間に設けられた熱絶縁領域とから構成されることを特徴とする熱絶縁構造体。

【請求項3】 前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成する材料の熱伝導率が略 $0.4 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 以下の特性を有することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の熱絶縁構造体。

【請求項4】 前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成する材料がポリイミドであることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の熱絶縁構造体。

【請求項5】 前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成する材料がフッ素化樹脂であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の熱絶縁構造体。

【請求項6】 前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域の可撓領域における厚み方向の少なくとも一面に前記熱絶縁領域を構成する材料よりも硬い薄膜が設けられていることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれかに記載の熱絶縁構造体。

【請求項7】 前記硬い薄膜のヤング率が、略 $9.8 \times 10^9 \text{ N}/\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする請求項6に記載の熱絶縁構造体。

【請求項8】 前記硬い薄膜が二酸化ケイ素薄膜であることを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の熱絶縁構造体。

【請求項9】 前記半導体基板と可撓領域の前記熱絶縁領域に接する部分が互いに櫛刃状になっていることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれかに記載の熱絶縁構造体。

【請求項10】 前記半導体基板と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた熱絶縁領域と、前記可撓領域とにわたって可撓領域の厚み方向の一端面に配線が形成されていることを特徴とする請求項1から請求項9のいずれかに記載の熱絶縁構造体。

【請求項11】 前記半導体基板と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた熱絶縁領域と、前記可撓領域とにわたって配線が形成されており、前記配線の一部が前記熱絶縁領域の内部に設けられたことを特徴とする請求項1から請求項9のいずれかに記載の熱絶縁構造

体。

【請求項12】 前記配線が形成されている一端面は面一となっていることを特徴とする請求項10に記載の熱絶縁構造体。

【請求項13】 半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と可撓領域の間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続された可動エレメントから構成され、前記可撓領域の温度が変化したときに前記可動エレメントが前記半導体基板に対して変位することを特徴とする半導体マイクロアクチュエータ。

【請求項14】 前記可動エレメントの前記半導体基板に対する変位が非回転変位であることを特徴とする請求項13に記載の半導体マイクロアクチュエータ。

【請求項15】 前記可動エレメントの前記半導体基板に対する変位が回転変位であることを特徴とする請求項13に記載の半導体マイクロアクチュエータ。

【請求項16】 前記可撓領域は可撓領域を加熱するための加熱手段を含むことを特徴とする請求項13から請求項15のいずれかに記載の半導体マイクロアクチュエータ。

【請求項17】 前記可撓領域が十字形状の梁の一部を構成することを特徴とする請求項14又は請求項16に記載の半導体マイクロアクチュエータ。

【請求項18】 前記可撓領域が円字形状の梁の一部を構成することを特徴とする請求項15又は請求項16に記載の半導体マイクロアクチュエータ。

【請求項19】 前記可撓領域が前記半導体基板の一部を固定端とする片持梁の一部であることを特徴とする請求項15又は請求項16に記載の半導体マイクロアクチュエータ。

【請求項20】 半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続された可動エレメントと、前記可動エレメントの変位に応じてそこに流れる流体の制御が成される流路を有する流体制御エレメントとからなり、前記可撓領域の温度が変化したときの前記可動エレメントの変位により前記流路を流れる流体の制御がなされることを特徴とする半導体マイクロバルブ。

【請求項21】 前記可撓領域は、前記可撓領域を加熱するための加熱手段を含むことを特徴とする請求項20に記載の半導体マイクロバルブ。

【請求項22】 前記可撓領域は十字形状の梁の一部を構成することを特徴とする請求項20又は請求項21に記載の半導体マイクロバルブ。

【請求項23】 前記可撓領域は卍字形状の梁の一部を構成することを特徴とする請求項20又は請求項21に記載の半導体マイクロバルブ。

【請求項24】 半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続され接点を有する可動エレメントと、前記可動エレメントに設けられた接点と対応する部分に、前記接点と接触可能なそれぞれ離間した接点を有する固定エレメントとにより構成され、前記可撓領域の温度が変化するときの前記可動エレメントの変位により前記離間した接点を開閉することを特徴とする半導体マイクロリレー。

【請求項25】 前記可撓領域は、可撓領域を加熱するための加熱手段を含むことを特徴とする請求項24記載の半導体マイクロリレー。

【請求項26】 前記可撓領域が前記半導体基板を固定端とする片持梁の一部であることを特徴とする請求項24又は請求項25記載の半導体マイクロリレー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体基板と、半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、両者の間に設けられた熱絶縁領域から構成される熱絶縁構造体及びこれを用いた半導体マイクロアクチュエータ及び半導体マイクロバルブ及び半導体マイクロリレーに関するものである。

【0002】

$$Q(W) = -\lambda(t_2 - t_1) / \delta \cdot A \quad (\text{式X})$$

となる。

【0005】ここで、Q；熱流（熱移動の速さ）

$t_2 - t_1$ ；温度差（℃）

δ ；熱源からの距離（cm）

A；熱流の向きに垂直な断面（cm²）

λ ；熱伝導率（J/cm・s・℃）

で与えられる。

【0006】そこで、この関係式を用いてダイアフラム100からシリコン棒102へ逃げる熱量を計算する。ダイアフラム100とシリコン棒102の温度差を150℃、ヒンジ103の横幅を30μm、ダイアフラム100の直径を2.5mm、ヒンジ103の厚みを2μm（「Electrically-Activated, Micromachined Diaphragm Valves」 Technical Digest IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop, pp65-69, June 1990より推定）とすると、熱流の向きに垂直な断面A1は、

$$A1 = 2.5 \text{ mm} \times \pi \times 2 \mu\text{m} = 0.25 \text{ cm} \times \pi \times 2 \times 10^{-4} \text{ cm} = 1.57 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

となり、二酸化ケイ素の熱伝導率 $\lambda = 0.084$ （W/cm・℃）

*【従来の技術】半導体基板と、半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、両者の間に設けられた熱絶縁領域から構成される熱絶縁構造体を用いたものとして、異なった熱膨張係数を有する少なくとも2つの材料を組み合わせ（バイメタル構造）、その部分を加熱し熱膨張係数の差を利用して変位を得る半導体マイクロアクチュエータがある。この半導体マイクロアクチュエータについては、特表平4-506392号「半導体マイクロアクチュエータ」、特開平5-187574号「超小型バルブ」等がある。

【0003】特表平4-506392号に記載されている半導体マイクロアクチュエータは、図25の上面図、図26の断面図に示すとおりであり、シリコンのダイアフラム100の一部にアルミニウム薄膜104が形成されたバイメタル構造になっている。シリコンからなるダイアフラム100中に形成されたヒータ101に電流を流すと発熱し、ダイアフラム100の温度が上昇する。ここで、シリコンとアルミニウムは熱膨張係数が大きく異なるため、熱応力が発生しダイアフラム100を撓ませ、可動部105の変位を生じる機構となっている。また、効率的な変位を得るために、ダイアフラム100の周辺とシリコン棒102の間に二酸化ケイ素薄膜のヒンジ103を設け、ダイアフラム100で発生した熱がシリコン棒102に逃げることを防ぐ構造となっている。

【0004】しかし、このような構造をもつ半導体マイクロアクチュエータにおいては以下のような問題点がある。まず、二酸化ケイ素薄膜のヒンジ構造の熱絶縁効果について考察する。一般に、高温部分から低温部分へ逃げる熱Qは

* cm・℃）であるから、逃げる熱Q1は、

$$Q1 = 0.084 \text{ (W/cm} \cdot \text{℃)} \times 150 \text{℃} / (30 \times 10^{-4} \text{ cm}) \times 1.57 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 = 0.66 \text{ W} = 660 \text{ mW}$$

となる。次に二酸化ケイ素のヒンジ構造を設けなかった場合を計算する。シリコンのダイアフラム100の厚みを10μmとし、熱流の向きに垂直な断面A2を計算すると、

$$A2 = 2.5 \text{ mm} \times \pi \times 10 \mu\text{m} = 0.25 \text{ cm} \times \pi \times 10 \times 10^{-4} \text{ cm} = 7.85 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

となり、シリコンの熱伝導率 $\lambda = 1.48$ （W/cm・℃）であるから、逃げる熱Q2は、

$$Q2 = 1.48 \text{ (W/cm} \cdot \text{℃)} \times 150 \text{℃} / (30 \times 10^{-4} \text{ cm}) \times 7.85 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 = 58 \text{ W}$$

となる。そこで、二酸化ケイ素薄膜のヒンジ103を設けることにより約90倍の熱絶縁効果が得られたことになる。このように特表平4-506392号に記載されている半導体マイクロアクチュエータは、従来の構造のものよりも熱効率の良い構造となっている。しかし、現状の使用用途を考えた場合には熱損失の更なる低減が望

まれている。具体的には、この熱の逃げ（熱損失）はダイアフラム100を所定の温度（例えば150℃）に維持するために常時供給される電力（消費電力）と考えられる。

【0007】そこで、特表平4-506392号に記載されている半導体マイクロアクチュエータの消費電力は数百mW（計算では660mW）と推定できるわけであるが、小型・携帯等の電池駆動用途の場合を考えた場合には百mW以下であることが望ましい。

【0008】また、特表平4-506392号記載の半導体マイクロアクチュエータは、二酸化ケイ素薄膜がヒンジ103の部分は、厚さ2μmと厚くなっている。このヒンジ103の二酸化ケイ素薄膜の厚みを決める要因については、明細書中に明確に記載されていない。しかし、特表平4-506392号記載の半導体マイクロアクチュエータがマイクロバルブ等に使用された場合には、可動エレメントに加えられた圧力がこのヒンジ103に集中することが予想され、この圧力に対し破壊しない程度の膜厚が必要となる。ところが、ヒンジ103の膜厚を増すと上記熱の逃げの計算式より熱絶縁効果が低下する。そこで、ある程度の強度をもち、かつ熱絶縁効果を有する二酸化ケイ素薄膜の膜厚として2μmが決定されたものと推定できる。

【0009】次に、ヒンジ103の二酸化ケイ素薄膜を厚くする必要性について考察する。特表平4-506392号公報記載の半導体マイクロアクチュエータは、明細書にも記載のごとくシリコンからなるダイアフラム100とアルミニウム薄膜104により構成されたバイメタルにより可動する構造となっているが、ダイアフラム100とアルミニウム薄膜104の間には電気的絶縁を得るために二酸化ケイ素薄膜106が挿入されている。

【0010】半導体製造プロセスでは、この二酸化ケイ素薄膜106とヒンジ103の二酸化ケイ素薄膜は同時に形成され、これらの膜厚は同じであることが望ましい。しかし、ダイアフラム100とアルミニウム薄膜104の間に挿入された二酸化ケイ素薄膜106の膜厚が2μmと厚くなった場合には、駆動源となるバイメタル特性を劣化させることが予想できる。文献（「Electrically-Activated, Micromachined Diaphragm Valves」

Technical Digest IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop, pp65-69, June1990）に記載されている例においてはアルミニウム薄膜104の膜厚5〜6μmとなっている。そこで膜厚2μmの二酸化ケイ素薄膜106がダイアフラム100とアルミニウム薄膜104の間に挿入されれば、加熱時のダイアフラム100の撓みを阻害する要因となることは容易に推定できる。

【0011】また半導体製造プロセスでは、二酸化ケイ素の薄膜は通常1000℃程度の高温で形成されるため、シリコンと二酸化ケイ素の熱膨張係数を考慮すると

シリコンのダイアフラム100-二酸化ケイ素薄膜106間でかなりの内部応力が発生するものと考えられる。この内部応力は二酸化ケイ素薄膜106の厚みが増すにつれ大きくなり、バイメタル特性を低下させる要因となるのである。以上のような点から考えて、ダイアフラム100-アルミニウム薄膜104間の二酸化ケイ素薄膜106はできるだけ薄く（ 2×10^{-8} m（200Å））、またヒンジ103の二酸化ケイ素の膜はある程度厚く（2μm）しなければならない。しかし、このような二酸化ケイ素の薄膜構造を形成するためには、非常に複雑な半導体製造プロセスが必要となり、特表平4-506392号の明細書においては製造方法については言及されていない。

【0012】またこの改善策として米国特許No. 5,271,597に他のヒンジ構造が開示されている。これは上記のような二酸化ケイ素の薄膜構造ではなく、ヒンジ部分の二酸化ケイ素とダイアフラム-アルミニウム薄膜間の二酸化ケイ素薄膜は同一膜厚となっている。この方法はヒンジ部分の二酸化ケイ素薄膜を薄くし、このために生じるヒンジ部の強度低下を補うために、ヒンジ以外にダイアフラムとシリコン枠の結合をダイアフラムの一部のシリコンを用いており、半導体マイクロアクチュエータの消費電力を小さくする構造になっていない。

【0013】このように半導体マイクロアクチュエータにおける熱絶縁構造においては、まだ多くの問題点が残されている。

【0014】また、特開平5-187574号に記載されている超小型バルブも異なった熱膨張係数を有する少なくとも2つの材料を組み合わせ、その部分を加熱し熱膨張係数の差を利用して変位を得る半導体マイクロアクチュエータが使用されている。このマイクロアクチュエータの熱絶縁構造はトーション・バー式サスペンションを設けることにより行われている。この構造は、熱流に垂直な断面の減少と熱流が通過する経路長の増加の双方により、シリコン枠への熱損失を最小化するものとなっている。しかし、このトーション・バー式サスペンション構造がシリコンにより形成されているため、熱の逃げの計算において考察したように、熱絶縁効果が十分に得られないと考えられる。

【0015】これは、文献「SILICON MICROVALVES FOR GAS FLOW CONTROL」The 8th International Conference on Solid-State Sensor and Actuators, Stockholm, Sweden, 1995, p276-279に記載されているマイクロバルブ性能比較表より推定できる。この文献には、特表平4-506392号に開示の「半導体マイクロアクチュエータ」に係わるマイクロバルブと、特開平5-187574号に開示の「超小型バルブ」に係わるマイクロバルブの比較がなされており、後者は前者に比べて耐圧が6倍、流量範囲が10倍であるが、消費電力は約2倍、熱抵抗で約1/3となっている。

【0016】このように特開平5-187574号に記載されている超小型バルブは、シリコンにより形成されたトーション・バー式サスペンション構造により大きな力を発生できるマイクロアクチュエータとなっているが、消費電力については、小型・携帯用のニーズに応えるものではない。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は熱絶縁効率が高く、かつ製造プロセスが簡単な熱絶縁構造体及びこれを用いた半導体マイクロアクチュエータ及び半導体マイクロバルブ及び半導体マイクロリレーを提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、請求項1の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域とから構成されており、前記熱絶縁領域が前記可撓領域の厚み内に設けられることを特徴とする。請求項1の発明によれば、可撓領域から半導体基板への熱の逃げを防ぎ、かつ簡単な製造プロセスで半導体基板と可撓領域の接合を行うとともに両者の熱絶縁を行うことができる。

【0019】また、請求項2の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、前記可撓領域から切り離され可撓領域の変位により変位する可動エレメントと、前記半導体基板と前記可撓領域との間及び前記可撓領域と前記可動エレメントとの間に設けられた熱絶縁領域とから構成されることを特徴とする。請求項2の発明によれば、可撓領域から半導体基板への熱の逃げを防ぐとともに、可撓領域から可動エレメントへの熱の逃げを防ぐことができ、温度変化による可撓領域の変位が効率よく行われる利点がある。

【0020】また、請求項3の発明は、請求項1又は請求項2に記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成する材料の熱伝導率が略0.4W/m・℃以下の特性を有することを特徴とする。請求項3の発明によれば、二酸化ケイ素薄膜以上の熱絶縁効果を得ることができる。

【0021】また、請求項4の発明は、請求項1から請求項3のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成する材料がポリイミドであることを特徴とする。請求項4の発明によれば、熱絶縁性がよく、製造し易い熱絶縁構造体が得られる。

【0022】また、請求項5の発明は、請求項1から請求項3のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成

する材料がフッ素化樹脂であることを特徴とする。請求項5の発明によれば、熱絶縁性がよく、製造し易い熱絶縁構造体が得られる。

【0023】また、請求項6の発明は、請求項1から請求項5のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域の可撓領域における厚み方向の少なくとも一面に前記熱絶縁領域を構成する材料よりも硬い薄膜が設けられていることを特徴とする。請求項6の発明によれば、半導体基板と可撓領域の接合強度を上げることができる。

【0024】また、請求項7の発明は、請求項6に記載の発明において、前記硬い薄膜のヤング率が、略 $9.8 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 以上であることを特徴とする。請求項7の発明によれば、半導体基板と可撓領域の接合領域を上げることができる。

【0025】また、請求項8の発明は、請求項6又は請求項7に記載の発明において、前記硬い薄膜が二酸化ケイ素薄膜であることを特徴とする。請求項8の発明によれば、半導体基板と可撓領域の接合強度を上げることができる。

【0026】また、請求項9の発明は、請求項1から請求項5のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と可撓領域の前記熱絶縁領域に接する部分が互いに櫛刃状になっていることを特徴とする。請求項9の発明によれば、半導体基板と可撓領域の熱絶縁効果を保ちつつ、半導体基板と可撓領域の接合強度を上げることができる。

【0027】また、請求項10の発明は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた熱絶縁領域と、前記可撓領域とにわたって可撓領域の厚み方向の一端面に配線が形成されていることを特徴とする。請求項10の発明によれば、半導体基板と可撓領域の間に配線を形成することができる。

【0028】また、請求項11の発明は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた熱絶縁領域と、前記可撓領域とにわたって配線が形成されており、前記配線の一部が前記熱絶縁領域の内部に設けられたことを特徴とする。請求項11の発明によれば、配線を保護することができ、信頼性の高い熱絶縁構造体が得られる。

【0029】また、請求項12の発明は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の発明において、前記配線が形成されている一端面は面一となっていることを特徴とする。請求項12の発明によれば、配線の段差が小さくなり配線の断線を防止することが可能となる。

【0030】また、請求項13の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする

可撓領域と、前記半導体基板と可撓領域の間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続された可動エレメントから構成され、前記可撓領域の温度が変化したときに前記可動エレメントが前記半導体基板に対して変位することを特徴とする。請求項13の発明によれば、請求項1から請求項12と同様の効果を有する半導体マイクロアクチュエータが得られる。

【0031】また、請求項14の発明は、請求項13に記載の発明において、前記可動エレメントの前記半導体基板に対する変位が非回転変位であることを特徴とする。請求項14の発明によれば、可動エレメントの変位の制御精度が良くなる。

【0032】また、請求項15の発明は、請求項13に記載の発明において、前記可動エレメントの前記半導体基板に対する変位が回転変位であることを特徴とする。請求項15の発明によれば、可動エレメントの変位が大きなものとなる。

【0033】また、請求項16の発明は、請求項13から請求項15のいずれかに記載の発明において、前記可撓領域は可撓領域を加熱するための加熱手段を含むことを特徴とする。請求項16の発明によれば、半導体マイクロアクチュエータを小型化できる。

【0034】また、請求項17の発明は、請求項14又は請求項16に記載の発明において、前記可撓領域が十字形状の梁の一部を構成することを特徴とする。請求項17の発明によれば、可動エレメントの変位の制御精度が良くなる。

【0035】また、請求項18の発明は、請求項15又は請求項16に記載の発明において、前記可撓領域が十字形状の梁の一部を構成することを特徴とする。請求項18の発明によれば、可動エレメントの変位が大きなものとなる。

【0036】また、請求項19の発明は、請求項15又は請求項16に記載の発明において、前記可撓領域が前記半導体基板の一部を固定端とする片持梁の一部であることを特徴とする。請求項19の発明によれば、大きな変位と大きな力が得られる半導体マイクロアクチュエータを提供できる。

【0037】また、請求項20の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続された可動エレメントと、前記可動エレメントの変位に応じてそこに流れる流体の制御が成される流路を有する流体制御エレメントとからなり、前記可撓領域の温度が変化したときの前記可動エレメントの変位により前記流路を流れる流体の制御がなされることを特徴とする。請求項20の発明によ

ば、請求項1から請求項12と同様の効果を有する半導体マイクロバルブを提供できる。

【0038】また、請求項21の発明は、請求項20に記載の発明において、前記可撓領域は、前記可撓領域を加熱するための加熱手段を含むことを特徴とする。請求項21の発明によれば、小型のマイクロバルブが得られる。

【0039】また、請求項22の発明は、請求項20又は請求項21に記載の発明において、前記可撓領域は十字形状の梁の一部を構成することを特徴とする。請求項22の発明によれば、流体の制御精度のよい半導体マイクロバルブが得られる。

【0040】また、請求項23の発明は、請求項20又は請求項21に記載の発明において、前記可撓領域は卍字形状の梁の一部を構成することを特徴とする。請求項23の発明によれば、流体の流量制御範囲の広いマイクロバルブが得られる。

【0041】また、請求項24の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続され接点を有する可動エレメントと、前記可動エレメントに設けられた接点と対応する部分に、前記接点と接触可能なそれぞれ離間した接点を有する固定エレメントとにより構成され、前記可撓領域の温度が変化したときの前記可動エレメントの変位により前記離間した接点を開閉することを特徴とする。請求項24の発明によれば、請求項1から請求項12と同様の効果を有する半導体マイクロリレーが得られる。

【0042】また、請求項25の発明は、請求項24に記載の発明において、前記可撓領域は、可撓領域を加熱するための加熱手段を含むことを特徴とする。請求項25の発明によれば、小型の半導体マイクロリレーが得られる。

【0043】また、請求項26の発明は、請求項24又は請求項25に記載の発明において、前記可撓領域が前記半導体基板を固定端とする片持梁の一部であることを特徴とする。請求項26の発明によれば、接点圧力の大きい半導体マイクロリレーが得られる。

【0044】この発明は、ポリイミドまたはフッ素化樹脂等の樹脂材料が高い熱絶縁性（二酸化ケイ素の約80倍）を有し、さらに液状で加工し易くスピンコートなどの半導体製造工程により所望の厚さ（数 μm ～数十 μm ）の薄膜を容易に得ることができるという特徴に着目しなされたものである。

【0045】詳細には、半導体基板と、半導体基板から切り離され温度変化により変位を発生する可撓領域と、半導体基板と可撓領域の間に設けられた熱絶縁領域から

構成されている。この可撓性領域と半導体基板との間に設けられた熱絶縁領域は、可撓領域の厚み内にポリイミドまたはフッ素化樹脂等の熱絶縁材料が充填された構造となっている。可撓領域と半導体基板とを切り離すことにより、可撓領域から半導体基板への熱の逃げを防ぎ、可撓領域の厚み内に熱絶縁領域を設けることにより、簡単な製造プロセスで熱絶縁構造体が製造できる。

【0046】また、熱絶縁領域の上部または下部、もしくは上部および下部に二酸化ケイ素薄膜などの硬質な薄膜を設けることにより、可撓領域と半導体基板の接合部分の強度を上げることができる。

【0047】さらに、半導体基板と可撓領域とを櫛刃状に加工し、その間に熱絶縁材料を充填させる構造により、熱絶縁効果を保ちつつ接合部分の強度を上げることができる。また、このような熱絶縁構造体を用いて熱的に応答する半導体マイクロアクチュエータ、半導体マイクロバルブ、半導体マイクロリレーを構成することにより、熱効率のよい小型・低消費電力駆動の半導体マイクロアクチュエータ、半導体マイクロバルブ、半導体マイクロリレーを実現できる。

【0048】

【発明の実施の形態】（実施形態1）本発明の実施形態1を説明する。図1は本発明に係わる熱絶縁構造体を用いた半導体マイクロアクチュエータの構造を示す一部破断の斜視図、図2（a）は断面図、図2（b）は上面図である。

【0049】図示したように、半導体マイクロアクチュエータ1は、シリコン等からなる中空で略四角形状の枠体となる半導体基板3と、その内方にそれぞれ熱絶縁領域7を介して4点で接合される半導体基板3より切り離された可動部位8により構成される。この可動部位8は、上面が四角形状に開口し下方に向かうにつれて幅が狭くなる中空の四角錐台形状に形成された中央の可動エレメント5をその上面の開口部4辺のそれぞれより外方に延びる四角片状の可撓領域2で支える構造となっており、可撓領域2は可動エレメント5を挟んで略十字形状となっている。

【0050】半導体基板3と可撓領域2との間の熱絶縁領域7には、可撓領域2とはほぼ同じ厚さでフッ素化樹脂、ポリイミド等の熱絶縁材料が充填されている。また、可撓領域2上の表面には不純物拡散抵抗等よりなる可撓領域2を加熱するための加熱手段6が設けられており、この可撓領域2はその上にアルミニウム薄膜またはニッケル薄膜などの、可撓領域2を構成するシリコンと熱膨張係数の異なる薄膜4が設けられている。ここで、半導体基板3と可撓領域2とその間の熱絶縁領域7とで熱絶縁構造体が構成される。

【0051】ここでこの発明の作用を説明するために、具体的例として図3の断面図に示すように熱絶縁領域7の横方向の長さを30μm、厚さを20μmとし、その

構成材料としてポリイミド（商品名「フォトニース」、以下ポリイミドという）を使用した場合について考察する。また図1に示した可撓領域2の長さ（半導体基板3から可動エレメント5への方向の長さ）を800μm、可撓領域2の幅（熱絶縁領域7と平行方向）を600μmとする。

【0052】可撓領域2から熱絶縁領域7を通して半導体基板3へ逃げる熱Q3を計算すると、従来例で示した式Xに従う。ここで、逃げる熱Q3の熱流の向きに垂直な断面A3は

$$A3 = (\text{ポリイミドの厚み}) \times (\text{可撓領域の幅}) = 20 \mu\text{m} \times 600 \mu\text{m} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

となる。また、ポリイミドの熱伝導率は $1.17 \times 10^{-3} \text{ (W/cm}^\circ\text{C)}$ であり、熱源から距離δ、すなわち可撓領域2と半導体基板3の距離は30μmであるから、150℃に加熱された可撓領域2から半導体基板3へ逃げる熱Q3は

$$Q3 = 1.17 \times 10^{-3} \text{ (W/cm}^\circ\text{C}) \times (150^\circ\text{C} / (30 \times 10^{-4} \text{ cm})) \times 1.2 \times 10^{-4} \text{ (cm}^2\text{)} \\ = 4.2 \times 10^{-3} \text{ (W)} = 4.2 \text{ (mW)}$$

となる。上記したように可動部位8は4つの可撓領域を有しているため、全体として16.8mWの熱量となる。これは、加熱手段6に電力16.8mWを投入することにより可撓領域2の温度を150℃に維持できることを示しており、従来例の660mWに比べて、消費電力を1/40に低減できる。

【0053】次に、ポリイミドで構成された熱絶縁領域7の強度について考察する。図4（a）に示す両端固定の両持梁構造のモデルを考える。図4（a）に示すように梁の中心に荷重Wが下から加えられた場合には、梁のせん断力、モーメント力はそれぞれ図4（b）（c）に示すようになる。熱絶縁領域7は、図4（a）においては、両端の固定端25、26と梁27の間に位置する。そこで、例えば荷重Wが1g、梁27の中央に加わった場合（マイクロバルブの場合にオリフィス500μmに46.7kPaの圧力がかかった場合に相当する）における梁27にかかる力を求める。

【0054】梁にかかるせん断力Fは $F = W/2 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ (kgf)} / 2 = 0.5 \times 10^{-3} \text{ (kgf)} = 4.9 \times 10^{-3} \text{ (N)}$ となり、梁にかかる最大せん断応力Fmaxは、

$$F_{\text{max}} = F/S \quad (S \text{ は梁の断面積})$$

となる。ここで、梁の幅 $b = 600 \mu\text{m}$ 、梁の厚み $h = 20 \mu\text{m}$ とすると断面積Sは

$$S = b h = 600 \times 10^{-4} \times 20 \times 10^{-4} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

となる。よって、梁27にかかる最大せん断応力Fmaxは、

$$F_{\text{max}} = 0.50 \times 10^{-3} \text{ (kgf)} / 1.2 \times 10^{-4} \text{ (cm}^2\text{)} = 4.16 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 4.16 \times$$

0.098 (MPa) = 0.41 (MPa) となる。次に、梁にかかる最大応力 σ_{max} を求める。最大応力 σ_{max} は、

$$\sigma_{max} = M_{max} / Z$$

で表される。このとき、 M_{max} は最大モーメントであり、 Z は断面係数である。最大モーメント M_{max} は図4(c)に示したとおり、 $M_{max} = WL/8$ (L は梁の長さ $800 \mu m$) であり、よって、最大モーメント M_{max} は、 $M_{max} = WL/8 = 1.0 \times 10^{-3} (kgf) \times 800 \times 10^{-4} (cm) / 8 = 1.0 \times 10^{-5} (kgf \cdot cm)$ となる。また、断面係数 Z は

$$Z = bh^2/6 - 1/6 \times 600 \times 10^{-4} \times (20 \times 10^{-4})^2 = 4.0 \times 10^{-8} (cm^3)$$

となる。そこで、モーメントによる最大応力 σ_{max} は $\sigma_{max} = M_{max} / Z = 1.0 \times 10^{-5} (kgf \cdot cm) / 4.0 \times 10^{-8} (cm^3) = 250 (kgf/cm^2) = 24.5 (MPa)$

となる。ここで、梁の寸法を上記したように、幅 $600 \mu m$ 、長さ $800 \mu m$ として求めた。

【0055】ポリイミドの破壊強度は $30 MPa$ 程度であるため、上記した熱絶縁領域7で $1 g$ 程度の荷重に耐える半導体マイクロアクチュエータを実現できる。またこの熱絶縁領域7の強度については、他の例に示すように強度を上げることが可能である。また、ここで記載していないが、フッ素化樹脂においても同様の効果が期待できる。

【0056】ここで、図3で示した熱絶縁領域7の形成方法例を図5を用いて説明する。まず、図5(a)に示すように半導体基板17の表面の熱絶縁領域に対応する部分を KOH などによりエッチングして溝15を形成する。その後、図5(b)に示すように、ポリイミド薄膜16をコータ等により回転塗布し、溝15を埋め尽くすように形成する。次に、図5(c)に示すように半導体のフォトリソ工程などにより溝15を埋め尽くした部分のポリイミド薄膜16を残し、その他の部分を除去するようにパターニングし、 $400^\circ C$ 程度に加熱してポリイミド中に含まれる有機溶剤などを蒸発させ固化させる。次に、図5(d)に示すように半導体基板17の裏面より KOH などによりエッチングを行う。このとき、28は枠部となる半導体基板、29は可撓領域を示している。このような工程を経て図3に示す熱絶縁領域7が形成される。

【0057】以上のように、熱絶縁領域7は、ポリイミド、フッ素化樹脂等の樹脂材料が高い熱絶縁性（二酸化ケイ素の約80倍）を有し、さらに液状で加工し易くスピンコートなどの半導体製造工程により所望の厚さ（数 μm ～数十 μm ）の薄膜を容易に得ることができるという性質をうまく利用して、可撓領域2と半導体基板3の間の熱絶縁領域7の可撓領域2の厚み内に形成されるの

で、従来例に比べて熱絶縁効果が優れ、かつ強度をもつ熱絶縁構造体を半導体製造工程を用い容易に実現できる。また、上記したように熱絶縁領域7を可撓領域2とほぼ同じ厚さにすることで、半導体基板3と可撓領域2との接合を確実にし、その接合部分の強度を強くできる。

【0058】ここで、半導体マイクロアクチュエータ1の動作を説明する。加熱手段6に電力が加えられると可撓領域2の温度が上昇する。可撓領域2の上部には可撓領域2と異なる熱膨張係数を持つ薄膜4が形成されているため、両者の熱膨張差による熱応力が発生する。例えば、薄膜4としてアルミニウム、ニッケル等の金属薄膜が形成させている場合には、可撓領域2を構成するシリコンよりも熱膨張係数が大きいため、可撓領域2は図中下方向へ曲げられる。可動エレメント5は可撓領域2に接続されているため、可撓領域2の熱応力を受けて、半導体基板3に対して下方向に変位する。

【0059】本実施形態の半導体マイクロアクチュエータ1においては、中央の可動エレメント5とその周囲の4つの可撓領域2とで十字形状の梁を構成しており、可動エレメント5の変位は半導体基板3に対して非回転的な変位となり、変位の制御精度が良く大きな力を発生することができる。また、上記の構成により製造プロセスが簡単であり、また熱絶縁性が高く小型・低消費電力で駆動可能である。また、可撓領域2には可撓領域2を加熱するための拡散抵抗等からなる加熱手段6が設けられているので半導体マイクロアクチュエータ1を小型化できる。

【0060】次に、上記した半導体基板3と可撓領域2と熱絶縁領域7とにより構成される熱絶縁構造体の他の例を説明する。本例の熱絶縁構造体は図6(a)、図6(b)に示すように、半導体基板3と、可撓領域2との間の厚み内に、可撓領域2の厚さとはほぼ同じ厚さの熱絶縁領域10が形成される点は図3と同じであるが、この熱絶縁領域10は上部にフッ素化樹脂あるいはポリイミドなどの熱絶縁材料からなる熱絶縁材料領域11と、下部に二酸化ケイ素などの熱絶縁領域11を構成する材料よりも硬い薄膜で構成された補強領域12より構成されている。尚、図6(a)は断面図、図6(b)は上面図であり、図7は図6(b)のY-Y'断面図である。

【0061】熱絶縁領域10の具体的な寸法としては図7に示したように、全体の厚さが $20 \mu m$ であり、熱絶縁材料領域11は $19 \mu m$ 、補強領域12は $1 \mu m$ の厚さである。そして、図6(a)に示すように熱絶縁領域10の横方向、すなわち半導体基板3から可撓領域2の方向の長さが $30 \mu m$ 、そしてY-Y'方向、すなわち奥行き方向の長さが $600 \mu m$ である。ここで、熱絶縁材料領域11を構成する材料としてポリイミドを用い、補強領域12を構成する材料として二酸化ケイ素を使用した場合の熱絶縁領域10の強度を上記した図3におけ

る熱絶縁領域7の強度計算と同様な条件で行う。

【0062】熱絶縁領域10の各構成材料のヤング率を E_i 、各領域の図7で示した断面の断面積を A_i とすると、底面から中立軸までの距離を ηa は次式で与えられる。

【0063】

【式1】

$$\eta a = \frac{\sum_i E_i \int \eta d A_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} \quad 10$$

$$\text{ヤング率 } E_s ; 7.3 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad *$$

$$\text{断面積 } A_s ; 1 \times 10^{-6} \times 600 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$E_s \cdot A_s = 7.3 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)} \times 1 \times 10^{-6} \times 600 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$= 43.8 \text{ N}$$

$$E_s \int \eta d A_s = E_s \int_0^{1 \mu\text{m}} \eta (600 \times 10^{-6} d \eta)$$

$$= 7.3 \times 6 \times 10^6 \times [\eta^2/2]_0^{1 \mu\text{m}}$$

$$= 21.9 \times 10^{-6} \text{ N-m}$$

【0066】また、熱絶縁材料領域11を構成するポリイミドについて各値を求めると次のようになる。

※【0067】

※【式3】

$$\text{ヤング率 } E_f ; 5.0 \times 10^8 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$\text{断面積 } A_f ; 19 \times 10^{-6} \times 600 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$E_f \cdot A_f = 5.0 \times 10^8 \text{ (N/m}^2\text{)} \times 19 \times 10^{-6} \times 600 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$= 5.70 \text{ N}$$

$$E_f \int \eta d A_f = E_f \int_{1 \mu\text{m}}^{20 \mu\text{m}} \eta (600 \times 10^{-6} d \eta)$$

$$= 5.0 \times 6 \times 10^4 \times [\eta^2/2]_{1 \mu\text{m}}^{20 \mu\text{m}}$$

$$= 59.8 \times 10^{-6} \text{ N-m}$$

【0068】ここで、上記値を用いて中立軸までの距離 ηa を求めると次のようになる。

★【0069】

★【式4】

(10)

特開2000-317897

$$\eta a = \frac{\sum_i E_i \int \eta d A_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} = \frac{(21.9+59.8) \times 10^{-6}}{(42.8+5.7)} = 1.68 \times 10^{-6} \text{ (m)} = 1.68 \mu\text{m}$$

【0070】次に、二酸化ケイ素、ポリイミドの中立軸 * 【0071】
 に関する2次モーメント I_s 、 I_f を求めると次のように 【式5】
 なる。

$$I_s = \int \eta_i^2 d A_i = \int_{0.68 \mu\text{m}}^{1.68 \mu\text{m}} \eta_i^2 (600 \times 10^{-6} d \eta_i) = 600 \times 10^{-6} \times [\eta^3/3]_{0.68 \mu\text{m}}^{1.68 \mu\text{m}} = 8.86 \times 10^{-22} \text{ m}^4$$

$$I_f = \int \eta_i^2 d A_i = \int_{-0.68 \mu\text{m}}^{18.32 \mu\text{m}} \eta_i^2 (600 \times 10^{-6} d \eta_i) = 600 \times 10^{-6} \times [\eta^3/3]_{-0.68 \mu\text{m}}^{18.32 \mu\text{m}} = 1.22 \times 10^{-18} \text{ m}^4$$

【0072】ここで、 $\eta_i = \eta - \eta a$ 、すなわち η_i は * 【0073】
 中立軸からの距離を示している。図4で説明したように となる。二酸化ケイ素の最大曲げ応力 $\sigma_{s \max}$ を計算
 両端が固定された梁の中央に1gの荷重が加えられた場 すると、
 合、梁にかかる最大モーメント M_{\max} は、 【式6】
 $M_{\max} = 1.00 \times 10^{-5} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)} = 9.8 \times 30$

$$\sigma_{s \max} = M_{\max} \frac{E_s \cdot \eta_i}{\sum_i E_i \cdot I_i} = \frac{0.98 \times 10^{-6} \times 7.3 \times 10^{10} \times 1.68 \times 10^{-6}}{7.3 \times 10^{10} \times 8.86 \times 10^{-22} + 5 \times 10^8 \times 1.22 \times 10^{-18}} = 1.78 \times 10^8 \text{ (kg/m}^2\text{)} = 178 \text{ (MPa)}$$

【0074】ここで、 I_i は上記各2次モーメント I_s 、 ★ 【0075】
 I_f を示している。また、ポリイミドの最大曲げ応力 $\sigma_{f \max}$ を計算すると次のようになる。 ★ 【式7】

$$\begin{aligned}
 \sigma_{f \max} &= M_{\max} \frac{E_f \cdot \eta_i}{\sum I_i} \\
 &= \frac{0.98 \times 10^{-6} \times 5.0 \times 10^8 \times 18.32 \times 10^{-6}}{7.3 \times 10^{10} \times 8.86 \times 10^{-22} + 5 \times 10^8 \times 1.22 \times 10^{-18}} \\
 &= 1.33 \times 10^7 \text{ (kg/m}^2\text{)} = 13.3 \text{ (MPa)}
 \end{aligned}$$

【0076】よって、ポリイミドにより構成された熱絶縁材料領域11にかかる応力は図3で示した例に比べ約1/2となる。これは見かけ上、強度が2倍になったことと等価である。図6では、補強領域12を熱絶縁材料領域11の下部に設けているが、上部であっても同等の効果が得られる。また、上下両側に設けた場合は下部、上部それぞれに設けた場合の2倍の効果が得られる。

【0077】このように、図6で示した熱絶縁領域10の形成方法例を図8を用いて説明する。まず、図8

(a)に示すように半導体基板18の表面の熱絶縁領域20
20 に対応する部分をKOHなどによりエッチングし、溝19を形成する。その後、図8(b)に示すように熱酸化などにより半導体基板18の表面に二酸化ケイ素薄膜21を形成する。二酸化ケイ素薄膜21はエッチングなどにより溝19の表面部分以外は除去される。

【0078】次に、図8(c)に示すように、ポリイミド薄膜22をコートなどにより回転塗布し、溝19を埋め尽くすように形成する。さらに、図8(d)に示すように、半導体のフォトリソ工程などにより溝19を埋め
30 尽くした部分のポリイミド薄膜22を残し、その他の部分を除去するようにパターニングし、400℃程度に加熱してポリイミド中に含まれる有機溶剤などを蒸発させ固化させる。次に、図8(e)に示すように、半導体基板18に裏面よりKOHなどによりエッチングを行う。このとき、23は半導体基板、24は可撓領域である。このような工程を経て、図6に示す熱絶縁領域10が形成される。

【0079】次に、本発明の熱絶縁構造体の更に他の例を説明する。本例は図9(a)、図9(b)に示すように、半導体基板3から切り離された可撓領域2と半導体
40 基板3との間の厚み内に可撓領域2とほぼ同じ厚さの熱*

* 絶縁領域20が形成されている。本実施例では図9

(b)の上面図に示されるとおり、半導体基板3と可撓領域2のそれぞれが、可撓領域2のB-B'方向の外側では可撓領域2が突出し、内側では半導体基板3が突出するように3本の櫛刃を有する櫛刃状に形成され、それぞれの間に熱絶縁領域20が設けられている。図9

(b)のB-B'断面図である図10に示されるように、B-B'方向に可撓領域2、半導体基板3、熱絶縁領域20が混在した構成となる。ここで、熱絶縁領域20はフッ素化樹脂、ポリイミドなどにより構成される。

【0080】この熱絶縁領域20の強度を計算するために、具体例として図9(a)(b)に示すように熱絶縁領域20の厚さを20μm、B-B'方向と垂直方向の幅を30μmとする。また図10に示すように、上記した可撓領域2と半導体基板3からなる各櫛刃のB-B'方向の幅を180μm、熱絶縁領域20のB-B'方向の幅を30μmとする。また、熱絶縁領域20の材料をポリイミドとし、半導体基板3、可撓領域2がシリコンにより構成されるものとする。尚、比較のため図3の強度計算と同様の条件で熱絶縁領域20の強度を計算する。

【0081】図10のようなシリコンとポリイミドからなる組み合わせ構造の場合、シリコンのヤング率をE_{si}、ポリイミドのヤング率をE_{ph}、シリコン部の断面2次モーメントをI_{si}、ポリイミド部の断面2次モーメントをI_{ph}、シリコン部にかかるモーメントM_{si}、ポリイミド部にかかるモーメントをM_{ph}とすると、以下の関係式に従う。

【0082】

【式8】

(12)

特開2000-317897

21

22

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_{Si}}{E_{Si} \cdot I_{Si}} = \frac{M_{Ph}}{E_{Ph} \cdot I_{Ph}} = k \text{ (一定)}$$

$$M_{max} = M_{Si} + M_{Ph} \quad \rho : \text{曲率}$$

そこで、シリコン部のモーメント M_{Si} とポリイミド部のモーメント M_{Ph} は、

$$M_{Si} = k \cdot E_{Si} \cdot I_{Si} \quad M_{Ph} = k \cdot E_{Ph} \cdot I_{Ph} \quad k = \frac{M_{Ph}}{E_{Ph} \cdot I_{Ph}}$$

で表される。そこで、熱絶縁構造体の全体にかかるモーメント M_{max} は、

$$\begin{aligned} M_{max} &= M_{Si} + M_{Ph} = k \cdot E_{Si} \cdot I_{Si} + M_{Ph} \\ &= \frac{E_{Si} \cdot I_{Si}}{E_{Ph} \cdot I_{Ph}} M_{Ph} + M_{Ph} \end{aligned}$$

となる。

【0083】

* * 【式9】

また、ポリイミド部のモーメント M_{Ph} は、

$$M_{Ph} = \frac{M_{max}}{\frac{E_{Si} \cdot I_{Si}}{E_{Ph} \cdot I_{Ph}} + 1}$$

となる。同様にしてシリコン部のモーメント M_{Si} は、

$$M_{Si} = \frac{M_{max}}{\frac{E_{Ph} \cdot I_{Ph}}{E_{Si} \cdot I_{Si}} + 1}$$

【0084】ここで、シリコン部、ポリイミド部に関する各値を計算する。 * m^2) = 1.9×10^{12} (dyne/cm²) であり、

【0085】

シリコンのヤング率 $E_{Si} = 0.19 \times 10^{12}$ (N/ * 【式10】

$$E_{Si} = 1.9 \times 10^{12} \text{ (dyne/cm}^2\text{)} \times 1.019 \times 10^{-6} = 1.93 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_{Si} &= \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 180 \times 3 \times 10^{-4} \text{ (cm)} \times (20 \times 10^{-4} \text{ cm})^3 \\ &= 3.6 \times 10^{-11} \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

【0086】よって、 $E_{Si} \cdot I_{Si} = 1.93 \times 10^6$ * aであり、

$$(kgf/cm^2) \times 3.6 \times 10^{-11} \text{ (cm}^4\text{)} = 6.94 \times 10^{-5} \text{ (kgf} \cdot \text{cm}^2\text{)} = 6.8 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{ 【0087】$$

cm²である。ポリイミドのヤング率 E_{Ph} は500MP * 【式11】

$$E_{ph} = 5.0 \times 10^6 \text{ (Pa)} \times 1.019 \times 10^{-5} = 5.10 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$I_{ph} = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 30 \times 2 \times 10^{-4} \text{ (cm)} \times (20 \times 10^{-4} \text{ cm})^3 \\ = 4.0 \times 10^{-12} \text{ cm}^4$$

【0088】よって、 $E_{ph} \cdot I_{ph} = 5.10 \times 10^3 \text{ (kgf/cm}^2) \times 4 \times 10^{-12} \text{ (cm}^4) = 2.04 \times 10^{-8} \text{ (kgf} \cdot \text{cm}^2) = 2.00 \times 10^{-7} \text{ (N} \cdot \text{cm}^2) \text{ である。}$ * 【0089】ここで、ポリイミド部にかかるモーメント M_{ph} は次のようになる。 【0090】

$$M_{ph} = \frac{1.0 \times 10^{-5} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}}{\frac{6.94 \times 10^{-5}}{2.04 \times 10^{-8}} + 1} = 2.93 \times 10^{-9} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}$$

【0091】ここで、 $M_{ph} = 2.93 \times 10^{-9} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)} = 2.87 \times 10^{-8} \text{ (N} \cdot \text{cm)}$ である。 * M_{si} は次のようになる。 【0093】

【0092】同様にしてシリコン部にかかるモーメント * 【式13】

$$M_{si} = \frac{1.0 \times 10^{-5} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}}{\frac{2.04 \times 10^{-8}}{6.94 \times 10^{-5}} + 1} = 9.99 \times 10^{-6} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}$$

【0094】ここで、 $M_{si} = 9.99 \times 10^{-6} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)} = 9.79 \times 10^{-5} \text{ (N} \cdot \text{cm)}$ である。 * σ_{ph} は次のようになる。 【0096】

【0095】そこで、ポリイミド部にかかる最大応力 σ_{ph} * 【式14】

$$Z_a = \frac{1}{6} b h^2 = 2.0 \times 10^{-9} \text{ (cm}^3)$$

$$\sigma_{ph} = \frac{M_{ph}}{Z_a} = \frac{2.93 \times 10^{-9} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}}{3.8 \times 10^{-9} \text{ (cm}^3)} \\ = 0.77 \text{ (kgf/cm}^2) = 7.54 \times 10^{-2} \text{ (MPa)}$$

【0097】ここで、 Z_a は断面係数である。また、シリコン部にかかる最大応力 σ_{si} を求めると次のようになる。 ☆ 【0098】

$$Z_b = \frac{1}{6} b h^2 = 3.6 \times 10^{-8} \text{ (cm}^3)$$

$$\sigma_{si} = \frac{M_{si}}{Z_b} = \frac{9.99 \times 10^{-6} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}}{3.6 \times 10^{-8} \text{ (cm}^3)} \\ = 277 \text{ (kgf/cm}^2) = 27 \text{ (MPa)}$$

【0099】ここで、Zbは断面係数である。

【0100】よって、ポリイミドで構成された熱絶縁領域にかかる応力は図3で示した例に比べて約1/300となる。これは見かけ上、強度が300倍になったことと等価である。図9においては、半導体基板3と可撓領域2により3本の櫛刃状である場合について記載しているが、これに限定されるものではなく、少なくとも2本以上の櫛刃状の構造にすることにより同様の効果が得られる。

【0101】尚、図1～図3に示した半導体マイクロアクチュエータでは、可撓領域2と可動エレメント5が一体化されて可動エレメント5が可撓領域2に接続するように構成されているが、図11に示すように、可動エレメント5aが可撓領域2aから切り離されており、可動エレメント5aと可撓領域2aとの間にポリイミド等の樹脂が充填された熱絶縁領域7bが形成される構成であってもよい。半導体基板3aと可撓領域2aとの間に熱絶縁領域7aが形成されている点は図1～図3と同じである。

【0102】半導体基板3aのほうが可動エレメント5aより熱容量が大きく、可撓領域2aを半導体基板3aより切り離して、その間に熱絶縁領域7aを設ける構造であっても、拡散抵抗6aからの熱の逃げを抑制する効果があるが、可撓領域2aより可動エレメント5aを切り離して熱絶縁領域7bを設ける構造とすることで更に熱絶縁性が高まり、加熱手段なる拡散抵抗6aにより効果的に可撓領域2aと薄膜4aを加熱することができ、よって、消費電力の低減が図れる。

【0103】図11を説明する。半導体基板3a、可撓領域2a、可動エレメント5aの各上面には保護薄膜9bが設けられており、その一部の上面に保護薄膜9aが設けられている。可撓領域2aの表面には可撓領域2aを加熱するための加熱手段（ヒータ）なる拡散抵抗6aが設けられており、この拡散抵抗6aに一端が接続され、可撓領域2a上部の保護薄膜9a上、熱絶縁領域7aの下部面を介して、半導体基板3a上部の保護薄膜9a上に設けられた例えば電極パッド（図示せず）に接続されるアルミ配線13aが形成されている。

【0104】また、可撓領域2a上部の保護薄膜9aの上面に可撓領域2aを構成するシリコンとは熱膨張係数の異なる薄膜4aが設けられており、アルミ配線13aを介して拡散抵抗6aに電力が加えられると、拡散抵抗6aの温度が上昇し、可撓領域2のシリコンと薄膜4aの熱膨張差により熱応力が発生して可撓領域2aが変位し、可動エレメント5aが変位する。

【0105】図12はアルミ配線13aの形成状態を模式的に示したものであり、可撓領域2aの上部から熱絶縁領域7aの側部、可撓領域2aの厚み方向の一端面である下面部7P、側部を介して半導体基板3aの上部にわたって形成されている。尚、図12では保護薄膜の図

示は省略している。

【0106】図11のように構成される半導体マイクロアクチュエータの製造工程を図13、図14を用いて説明する。

【0107】まず、単結晶シリコン基板80の両面に熱酸化等によりシリコン酸化膜80aを形成し、所定形状にパターニングされたフォトリソをマスクとして、単結晶シリコン基板80の裏面に設けられたシリコン酸化膜80aのエッチングを行うことにより開口部80bを形成し、プラズマアッシング等によりそのフォトリソを除去する。形成された開口部80bを水酸化カリウム水溶液（以後、KOH水溶液と呼ぶ）等によりエッチングすることでギャップ80cを形成する（図13（a））。このとき、KOH水溶液の他にTMAH（テトラメチル水酸化アンモニウム溶液）、ヒトラジン水溶液などを用いてもよい。以降に述べるKOH水溶液についても同様である。

【0108】次に、上記シリコン酸化膜80aを全面除去した後、ボロン等をデポジション、熱拡散を行い、単結晶シリコン基板80の表面にヒータとなる拡散抵抗6aを形成する。続いて、この単結晶シリコン基板80の両面上に熱酸化等によりシリコン酸化膜81bを形成し、各シリコン酸化膜81bの上部に減圧CVDによりシリコン窒化膜81aを形成する（図13（b））。

【0109】そして、所定形状にパターニングされたフォトリソをマスクとして、シリコン酸化膜81b及びシリコン窒化膜81aのエッチングを行うことにより開口部82を形成し、プラズマアッシング等によりフォトリソを除去する（図13（c））。

【0110】次に、単結晶シリコン基板80の開口部82をKOH水溶液等によりエッチングすることで可動エレメント5aと可撓領域2aを形成する。このとき、所望の可動エレメント5aの厚さ、及び可撓領域2aの厚さを得るために、単結晶シリコン基板80の各面からのエッチング開始に時間差を設けてもよい。その後、単結晶シリコン基板80のエッチングにより、熱絶縁領域7a、7bを形成するための溝83a、83bを形成する。この溝83a、83bは、後工程でポリイミド等の有機材料を埋め込むための溝であり、その底厚が10μm程度の厚みとなるようにエッチングを行う（図13（d））。

【0111】続いて、可動エレメント5a、可撓領域2aを形成するためにエッチングされた基板表面を酸化して、基板にメッキするときの保護膜84を形成する（図13（e））。

【0112】そして、単結晶シリコン基板80の上面にアルミニウムをスパッタリング又はEB蒸着により形成して、拡散抵抗6aに接続される電気配線なるアルミ配線13aを形成する（図14（a））。

【0113】次に、上記溝83a、83bにポリイミド

等の有機物85を埋め込む(図14(b))。このようにして有機物85の下部面にアルミ配線13aが形成された構造となる。またここで、ポリイミド等の有機物85は半導体リソグラフィ工程を用いて所定の部分のみに形成する。

【0114】そして次に、所定形状の金属パターンをメッキなどで可撓領域2a上部のシリコン窒化膜81a(図11の保護薄膜9a)上に形成して薄膜4aとする(図14(c))。これにより可撓領域2aと薄膜4aで、半導体マイクロアクチュエータの駆動源であるバイ

10 10
メタル構造となる。
【0115】次に、可撓領域2aの裏面からRIE等でエッチングして、可撓領域2aを単結晶シリコン基板80の周辺部(図11での半導体基板3)及び可動エレメント5aと分離させる(図14(d))。これにより、可動エレメント5a、可撓領域2a、半導体基板3aは各々が熱絶縁され、各々の間に熱絶縁領域7a、7bが設けられる構成となっている。

20 20
【0116】このように半導体マイクロアクチュエータ87が製造され、この半導体マイクロアクチュエータ87と所定の型に形成されたガラス基板88とを陽極接合等により接合して図15に示すような半導体マイクロアクチュエータを用いた半導体マイクロバルブが製造される。これは、その後可撓領域2a以外のダイヤモンド部がRIE等によりエッチングされる。(図示せず)図11におけるアルミ配線13aは、図12に示すように熱絶縁領域7aの下部面に設けられているが、図16に示すようにアルミ配線13bが熱絶縁領域7aの上面と下面の略中間、すなわち熱絶縁領域7aの内部に設けられるようにしてもよい。

30 30
【0117】このようにアルミ配線13bを形成するには、図13(e)に示す保護膜84の形成工程の後、図13(d)の工程で形成された上記溝83aに、図14(b)に示すポリイミド等の有機物85を埋め込む工程により略中央部までポリイミドを埋め込み、図14(a)に示すアルミ配線の形成工程を行い、再度図14(b)に示す埋め込み工程により溝83aを埋めるようにすればよい。他の工程は図13、図14で示した通りのためその説明を省略する。

40 40
【0118】このようにアルミ配線13bが熱絶縁領域7aの内部に形成されているため、後工程のエッチング工程等でのアルミの保護効果があり、信頼性の高い配線構造が実現できる。

【0119】また、上記配線構造において、図17に示すようにアルミ配線13cが熱絶縁領域7aの上面に設けられるようにしてもよい。

50 50
【0120】このようにアルミ配線13cを形成するには、図13(e)に示す保護膜84の形成工程の後、図13(d)の工程で形成された上記溝83aに、図14(b)に示すポリイミド等の有機物85を埋め込む工程

によりポリイミドを埋め込み、その後図14(a)に示すアルミ配線の形成工程にてポリイミドの上面にアルミ配線を形成すればよい。他の工程は図13、図14で示した通りのためその説明を省略する。

【0121】このようにアルミ配線13cが熱絶縁領域7aの上面部に形成されているため、すなわち可撓領域2a、熱絶縁領域7a、半導体基板3aが面一である側の面上に形成されているので、アルミ配線が熱絶縁領域7aの内部あるいは下面部に設けられる場合に比べて、アルミ配線の段差が小さくなり、アルミ配線の断線防止効果がある。

【0122】(実施形態2)次に、図18の斜視図、図19の上面図を用いて、本発明に係わる熱絶縁構造体を用いた半導体マイクロアクチュエータの他の実施形態を説明する。図示したように、半導体マイクロアクチュエータ31は、シリコン等からなる中空で略四角形状の枠体となる半導体基板30と、その内方にそれぞれ熱絶縁領域37を介して4点で接合される半導体基板30より切り離された可動部位38により構成される。この可動部位38は、上面が四角形状に開口し下方に向かうにつれて幅が狭くなる中空の四角錐台形状に形成された中央の可動エレメント35をその上面の開口部4辺のそれぞれより外方に延びる略L字の片状の可撓領域32で支える構造となっており、可撓領域32のそれぞれが中央の可動エレメント35を挟んで略H字形状の梁となっている。

【0123】このとき、半導体基板30と可撓領域32の間の可撓領域32の厚み内に、可撓領域32とはほぼ同じ厚さのフッ素化樹脂、ポリイミド等の熱絶縁材料からなる熱絶縁領域37が設けられており、半導体基板30と可撓領域32と熱絶縁領域37とで熱絶縁構造体が構成される。また、各可撓領域32の表面には図示せぬ不純物拡散抵抗等よりなる加熱手段が設けられており、この可撓領域32はその上部に、アルミニウム薄膜またはニッケル薄膜などの可撓領域32を構成するシリコンと熱膨張係数の異なる薄膜34が設けられている。

【0124】このように構成された半導体マイクロアクチュエータ31の動作を説明する。加熱手段に電力が加えられると、可撓領域32の温度が上昇する。可撓領域32はその上部に可撓領域32と異なる熱膨張係数をもつ薄膜34が形成されているため、それぞれの熱膨張の差により可撓領域32に熱応力が発生する。例えば、薄膜34としてアルミニウム、ニッケル等の金属薄膜が形成されている場合は、可撓領域32よりも熱膨張係数が大きいため、図中下方向へ曲げられる。可撓領域32に支えられる可動エレメント35は可撓領域32の熱応力を受けて、半導体基板30に対して下方向に変位する。

【0125】本実施形態では、中央の可動エレメント35と可撓領域32とでH字形状の梁を構成しており、可動エレメント35の変位は半導体基板30に対して水平

方向の回転を含んでいる。また、円形状であるため梁の長さを長くすることができ、可撓領域32の撓みが大きくなり、可動エレメント35の変位を大きくすることができる。ここで、半導体基板3と可撓領域32と熱絶縁領域37からなる熱絶縁構造体は前述した図3、図6、図9に示したいずれのものを用いてもよく、上述した熱絶縁構造体の効果と同様の効果を有する半導体マイクロアクチュエータが得られる。

【0126】(実施形態3)次に、図20の斜視図を用いて本発明に係る熱絶縁構造体を用いた半導体マイクロアクチュエータの更に他の実施形態を示す。この半導体マイクロアクチュエータ41は、シリコン等からなる枠体となる半導体基板40と、その内方に熱絶縁領域47を介して接合される半導体基板40より切り離された可動部位48により構成される。この可動部位48は、一端に下方に突出形成される中空状の可動エレメント45と、この可動エレメント45に接続して形成される四角片状の可撓領域42とにより構成されている。

【0127】半導体基板40と、可動エレメント45のない側の可撓領域42の端部との間の厚み内に、可撓領域42の厚みと同じ厚さの熱絶縁領域47が設けられている。可撓領域42は、半導体基板40を固定端とする片持梁構造となっている。この熱絶縁領域47はフッ素化樹脂、ポリイミド等により構成されている。また、可撓領域42の表面には不純物拡散抵抗等によりなる加熱手段46が設けられ、可撓領域42の上部にはアルミニウム薄膜またはニッケル薄膜などのシリコンと熱膨張係数の異なる薄膜44が形成されている。また、半導体基板40の表面には加熱手段46の電極パッド49がある。ここで、半導体基板40と可撓領域42と熱絶縁領域47により熱絶縁構造体が構成されている。

【0128】このように構成された半導体マイクロアクチュエータ41の動作を説明する。加熱手段46に電力が加えられると、可撓領域42の温度が上昇する。可撓領域42の上部には可撓領域42と異なる熱膨張係数をもつ薄膜44が形成されているためその熱膨張係数差により、可撓領域42に熱応力が発生する。例えば、薄膜44がアルミニウム、ニッケル等の金属薄膜である場合は、可撓領域42を構成するシリコンよりも熱膨張係数が大きい可撓領域42は図中下方向に曲げられる。

【0129】そこで、可撓領域42と接続した可動エレメント45は、可撓領域42の熱応力を受け、半導体基板40に対し下方向に変位する。この場合の変位は半導体基板40に対し、垂直方向の回転を含む。このように可撓領域42を片持梁構造にすることにより、可撓領域42の自由度を大きくとれ、加熱時の可撓領域42の撓みが大きくなり、可動エレメント45の変位を大きくし、大きな力が得られる。ここで、熱絶縁構造体は図3、図6、図9で示したものいずれを用いてもよく、上記した熱絶縁構造体の効果と同様の効果を有する半導体

マイクロアクチュエータが得られる。

【0130】(実施形態4)次に、図21の斜視図を用いて、本発明に係る熱絶縁構造体を用いたマイクロバルブを説明する。この半導体マイクロバルブ52は、流体制御エレメントである弁座50とその上部に陽極接合、金共晶接合などにより接合されている弁体51とにより構成されている。この弁体51は図1、図2で示した半導体マイクロアクチュエータ1と同じ構成をしており、同じ符号を付しその説明を省略する。弁座50はその表面上に、弁体51の可動エレメント5と対応する位置に流体の流路に相当する孔部であるオリフィス55が設けられており、そのオリフィス55を取り囲むように、その周囲部より突出し上面が略平面状の台部56が形成される。

【0131】このとき可撓領域2に設けられた加熱手段6に電流が流れ、可撓領域2が加熱されると薄膜4との熱膨張係数の差により可撓領域2が撓み、可動エレメント5が変位する。この可動エレメント5の変位によりその下面部と弁座50の台部56との隙間の間隔が変化し、オリフィス55を流れる流体の流量が制御される。

【0132】本実施形態の半導体マイクロバルブ52の弁体51には、上述した熱絶縁構造体が備えられており、上記した効果と同様の効果が得られる。また、半導体マイクロバルブ52の可撓領域2は図1、図2で説明したのと同様、十字形状の梁の一部を構成するので、可動エレメント5の制御精度がよく、流体の制御精度のよい半導体マイクロバルブが得られる。

【0133】(実施形態5)次に、図22の斜視図を用いて本発明に係る熱絶縁構造体を用いた他の半導体マイクロバルブの実施形態を説明する。半導体マイクロバルブ62は、流体制御エレメントである弁座60とその上部に陽極接合、金共晶接合などにより接合されている弁体61とにより構成されている。この弁体61は図18、図19で示した半導体マイクロアクチュエータ31と同じ構成をしており、同じ符号を付しその説明を省略する。弁座60はその表面上に、弁体61の可動エレメント35と対応する位置に流体の流路に相当する孔部であるオリフィス65が設けられており、そのオリフィス65を取り囲むように、その周囲部より突出し上面が略平面状の台部66が形成される。

【0134】ここで、可撓領域32に形成された図示せぬ加熱手段に電流が流れ、可撓領域32が加熱されると、薄膜34との熱膨張の差により可撓領域32が撓み、可動エレメント35が変位する。この可動エレメント35の変位によりその下面部と弁座60の台部66との隙間の間隔が変化し、オリフィス65を流れる流体の流量が制御される。

【0135】本実施形態の半導体マイクロバルブ62の弁体61には、上述した熱絶縁構造体が備えられており、上記した効果と同様の効果が得られる。また、半導

31

体マイクロバルブ62の可撓領域32は図18、図19で説明したのと同様、正字形状の梁の一部を構成するので、可動エレメント35の変位が大きくなり、流体の流量制御範囲の広い半導体マイクロバルブが得られる。

【0136】(実施形態6)次に、図23の斜視図を用いて、本発明に係る熱絶縁構造体を用いた半導体マイクロリレーの実施形態を説明する。半導体マイクロリレー70は、表面に固定接点76、77が設けられた固定エレメントである固定片72と、その上部に陽極接合、金共晶接合などにより接合された可動片71とにより構成される。この可動片71は図20で示した半導体マイクロアクチュエータ41と同様の構成をしており、同じものには同じ符号を付しその説明を省略する。可動片71の下面には可動接点75が設けられており、固定片72上の固定接点76、77は可動接点75と対応する位置に可動接点75と接触可能に分離されて設けられている。

【0137】ここで、加熱手段46に電流が流れ可撓領域42が加熱されると、可撓領域42と薄膜44との熱膨張の差により可撓領域42が撓み、可動エレメント45が変位する。この変位により可動エレメント45の下面に設けられた可動接点75と固定接点76、77が接触し、固定接点76、77が閉じるように半導体マイクロリレー70が動作する。

【0138】本実施形態の半導体マイクロリレー70の可動片71には、上述した熱絶縁構造体が備えられており、上記した効果と同様の効果が得られる。また、半導体マイクロリレー70の可撓領域42は図20で説明したのと同様、半導体基板40を固定端とする片持梁の一部であるため、接点圧力の大きい半導体マイクロリレーが得られる。

【0139】また、図23に示した半導体マイクロリレーでは、可撓領域42と可動エレメント45が一体化されて可動エレメント45が可撓領域42に接続しているよう構成されているが、図24に示すように、可動エレメント45aが可撓領域42aから切り離されており、可動エレメント45aと可撓領域42aとの間にポリイミド等の樹脂が充填された熱絶縁領域47bが形成される構成であってもよい。半導体基板40aと可撓領域42aとの間に熱絶縁領域47aが形成されている。

【0140】図24において、半導体マイクロリレーは表面に固定接点77aが設けられた固定エレメントである固定片72aと、その上部に陽極接合、金共晶接合などにより接合された可動片71aにより構成される。可撓領域42aの表面に設けられた拡散抵抗46aは、アルミ配線48を介して拡散抵抗46aに電力を供給するために電極パッド(図示せず)と接続されており、このアルミ配線48の一部は熱絶縁領域47aの下部面に設けられる構成である。

【0141】上記拡散抵抗46aに電流が流れ可撓領域

32

42aが加熱されると、可撓領域42a上部の保護薄膜43b、43aの上面に設けられた薄膜44aと可撓領域42aのシリコンとの熱膨張差により、可撓領域42aが撓み可動エレメント45aが変位する。この変位により可動エレメント45aの下面に設けられた可動接点75aが、固定片72a上の固定接点77a及び図示せぬ固定接点に接触し、固定接点同士が接触して半導体マイクロリレーが動作する。

【0142】半導体基板40aのほうが可動エレメント45aより熱容量が大きく、可撓領域42aを半導体基板40aより切り離して、その間に熱絶縁領域47aを設ける構成であっても、加熱手段なる拡散抵抗46aからの熱の逃げを抑制する効果があるが、可撓領域42aより可動エレメント45aを切り離して熱絶縁領域47bを設ける構成とすることで更に熱絶縁性が高まり、拡散抵抗46aにより効果的に可撓領域42aと薄膜44aを加熱することができる。よって、消費電力の低減が図れる。

【0143】また、図24において、アルミ配線48の一部を熱絶縁領域47aの下部面に設けるように構成したが、図16、図17に示すように熱絶縁領域の内部や上部面に設けるようにしてもよい。

【0144】

【発明の効果】上記したように、請求項1の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域とから構成されており、前記熱絶縁領域が前記可撓領域の厚み内に設けられるため、可撓領域から半導体基板への熱の逃げを防ぎ、かつ簡単な製造プロセスで半導体基板と可撓領域の接合を行うとともに両者の熱絶縁を行うことができる。

【0145】また、請求項2の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され温度変化により変位する可撓領域と、前記可撓領域から切り離され可撓領域の変位により変位する可動エレメントと、前記半導体基板と前記可撓領域との間及び前記可撓領域と前記可動エレメントとの間に設けられた熱絶縁領域とから構成されるため、可撓領域から半導体基板への熱の逃げを防ぐとともに、可撓領域から可動エレメントへの熱の逃げを防ぐことができ、温度変化による可撓領域の変位が効率よく行われる利点がある。

【0146】また、請求項3の発明は、請求項1又は請求項2に記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成する材料の熱伝導率が略0.4W/m・℃以下の特性を有するため、二酸化ケイ素薄膜以上の熱絶縁効果を得ることができる。

【0147】また、請求項4の発明は、請求項1から請求項3のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成

する材料がポリイミドであるため、熱絶縁性がよく、製造し易い熱絶縁構造体が得られる。

【0148】また、請求項5の発明は、請求項1から請求項3のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域を構成する材料がフッ素化樹脂であるため、熱絶縁性がよく、製造し易い熱絶縁構造体が得られる。

【0149】また、請求項6の発明は、請求項1から請求項5のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた熱絶縁領域の可撓領域における厚み方向の少なくとも一面に前記熱絶縁領域を構成する材料よりも硬い薄膜が設けられているため、半導体基板と可撓領域の接合強度を上げることができる。

【0150】また、請求項7の発明は、請求項6に記載の発明において、前記硬い薄膜のヤング率が、 $8 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 以上であるため、半導体基板と可撓領域の接合領域を上げることができる。

【0151】また、請求項8の発明は、請求項6又は請求項7に記載の発明において、前記硬い薄膜が二酸化ケイ素薄膜であるため、半導体基板と可撓領域の接合強度を上げることができる。

【0152】また、請求項9の発明は、請求項1から請求項5のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と可撓領域の前記熱絶縁領域に接する部分が互いに櫛状になっているため、半導体基板と可撓領域の熱絶縁効果を保ちつつ、半導体基板と可撓領域の接合強度を上げることができる。

【0153】また、請求項10の発明は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた熱絶縁領域と、前記可撓領域とにわたって可撓領域の厚み方向の一端面に配線が形成されているため、半導体基板と可撓領域の間に配線を形成することができる。

【0154】また、請求項11の発明は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の発明において、前記半導体基板と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた熱絶縁領域と、前記可撓領域とにわたって配線が形成されており、前記配線の一部が前記熱絶縁領域の内部に設けられたため、配線を保護することができ、信頼性の高い熱絶縁構造体が得られる。

【0155】また、請求項12の発明は、請求項1から請求項9のいずれかに記載の発明において、前記配線が形成されている一端面は面一となっているため、配線の段差が小さくなり配線の断線を防止することが可能となる。

【0156】また、請求項13の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と可撓領域の間に設けられ

た請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続された可動エレメントから構成され、前記可撓領域の温度が変化したときに前記可動エレメントが前記半導体基板に対して変位するため、請求項1から請求項12と同様の効果を有する半導体マイクロアクチュエータが得られる。

【0157】また、請求項14の発明は、請求項13に記載の発明において、前記可動エレメントの前記半導体基板に対する変位が非回転変位であるため、可動エレメントの変位の制御精度が良くなる。

【0158】また、請求項15の発明は、請求項13に記載の発明において、前記可動エレメントの前記半導体基板に対する変位が回転変位であるため、可動エレメントの変位が大きなものとなる。

【0159】また、請求項16の発明は、請求項13から請求項15のいずれかに記載の発明において、前記可撓領域は可撓領域を加熱するための加熱手段を含むため、半導体マイクロアクチュエータを小型化できる。

【0160】また、請求項17の発明は、請求項14又は請求項16に記載の発明において、前記可撓領域が十字形状の梁の一部を構成するため、可動エレメントの変位の制御精度が良くなる。

【0161】また、請求項18の発明は、請求項15又は請求項16に記載の発明において、前記可撓領域が十字形状の梁の一部を構成するため、可動エレメントの変位が大きなものとなる。

【0162】また、請求項19の発明は、請求項15又は請求項16に記載の発明において、前記可撓領域が前記半導体基板の一部を固定端とする片持梁の一部であるため、大きな変位と大きな力が得られる半導体マイクロアクチュエータを提供できる。

【0163】また、請求項20の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域の間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続された可動エレメントと、前記可動エレメントの変位に応じてそこに流れる流体の制御が成される流路を有する流体制御エレメントとからなり、前記可撓領域の温度が変化したときの前記可動エレメントの変位により前記流路を流れる流体の制御がなされるため、請求項1から請求項12と同様の効果を有する半導体マイクロバルブを提供できる。

【0164】また、請求項21の発明は、請求項20に記載の発明において、前記可撓領域は、前記可撓領域を加熱するための加熱手段を含むため、小型のマイクロバルブが得られる。

【0165】また、請求項22の発明は、請求項20又は請求項21に記載の発明において、前記可撓領域は十字形状の梁の一部を構成するため、流体の制御精度のよ

い半導体マイクロバルブが得られる。

【0166】また、請求項23の発明は、請求項20又は請求項21に記載の発明において、前記可撓領域はH字形状の梁の一部を構成するため、流体の流量制御範囲の広いマイクロバルブが得られる。

【0167】また、請求項24の発明は、半導体基板と、前記半導体基板から切り離され、その領域を含む少なくとも2つの領域の熱膨張係数差に応じた変位をする可撓領域と、前記半導体基板と前記可撓領域との間に設けられた請求項1から請求項12のいずれかに記載の熱絶縁領域と、前記可撓領域に接続され接点を有する可動エレメントと、前記可動エレメントに設けられた接点と対応する部分に、前記接点と接触可能なそれぞれ離間した接点を有する固定エレメントとにより構成され、前記可撓領域の温度が変化したときの前記可動エレメントの変位により前記離間した接点を開閉するため、請求項1から請求項12と同様の効果を有する半導体マイクロリレーが得られる。

【0168】また、請求項25の発明は、請求項24に記載の発明において、前記可撓領域は、可撓領域を加熱するための加熱手段を含むため、小型の半導体マイクロリレーが得られる。

【0169】また、請求項26の発明は、請求項24又は請求項25に記載の発明において、前記可撓領域が前記半導体基板を固定端とする片持梁の一部であるため、接点圧力の大きい半導体マイクロリレーが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1に対応する熱絶縁構造体を用いた半導体マイクロアクチュエータの構造を示す一部破断の斜視図である。

【図2】本発明の実施形態1に対応する熱絶縁構造体を用いた半導体マイクロアクチュエータの一実施例の構造を示すものであって、(a)は断面図、(b)は上面図である。

【図3】図1、図2に示す熱絶縁構造体の構造を示す断面図である。

【図4】図1、図2に示した熱絶縁構造体の強度を求めるために用いる構造モデルを示すものであって、(a)は模式図、(b)はせん断力の分布図、(c)はモーメントの分布図である。

【図5】(a)から(d)はいずれも図1、図2に示した熱絶縁構造体の製造工程を示す断面図である。

【図6】本発明に係る他の熱絶縁構造体の構造を示す(a)は断面図、(b)は上面図である。

【図7】図6(b)に示す熱絶縁構造体のY-Y'で切断した断面図である。

【図8】(a)から(e)はいずれも図6に示した熱絶縁構造体の製造工程を示す断面図である。

【図9】本発明に係るさらに他の熱絶縁構造体の構造を示すものであって、(a)は断面図、(b)は上面図で

ある。

【図10】図9(b)に示す熱絶縁構造体のB-B'で切断した断面図である。

【図11】本発明の実施形態1に対応する半導体マイクロアクチュエータの他の構造を示す断面図である。

【図12】同上の半導体マイクロアクチュエータにおけるアルミ配線の構造を示す断面図である。

【図13】同上の半導体マイクロアクチュエータの製造方法を示す図であって、(a)から(e)はいずれも断面図である。

【図14】同上の半導体マイクロアクチュエータの製造方法を示す図であって、(a)から(d)はいずれも断面図である。

【図15】同上の半導体マイクロアクチュエータを用いた半導体マイクロバルブの構造を示す断面図である。

【図16】本発明の実施形態1に対応する半導体マイクロアクチュエータにおけるアルミ配線の他の構造を示す断面図である。

【図17】本発明の実施形態1に対応する半導体マイクロアクチュエータにおけるアルミ配線の更に他の構造を示す断面図である。

【図18】本発明の実施形態2に対応する半導体マイクロアクチュエータの構造を示す一部破断の斜視図である。

【図19】本発明の実施形態2に対応する半導体マイクロアクチュエータの構造を示す上面図である。

【図20】本発明の実施形態3に対応する半導体マイクロアクチュエータの構造を示す一部破断の斜視図である。

【図21】本発明の実施形態4に対応する半導体マイクロバルブの構造を示す一部破断の斜視図である。

【図22】本発明の実施形態5に対応する半導体マイクロバルブの構造を示す一部破断の斜視図である。

【図23】本発明の実施形態6に対応する半導体マイクロリレーの構造を示す一部破断の斜視図である。

【図24】本発明の実施形態6に対応する半導体マイクロリレーの他の構造を示す断面図である。

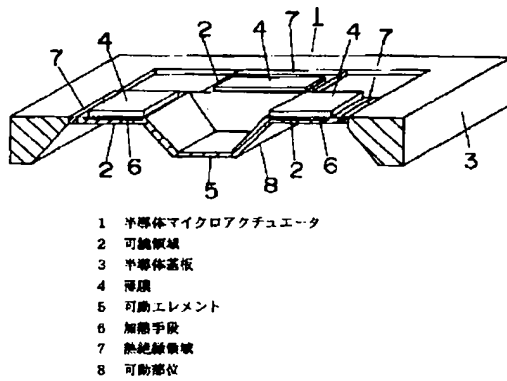
【図25】従来の半導体マイクロアクチュエータの構造を示す上面図である。

【図26】従来の半導体マイクロアクチュエータの構造を示す断面図である。

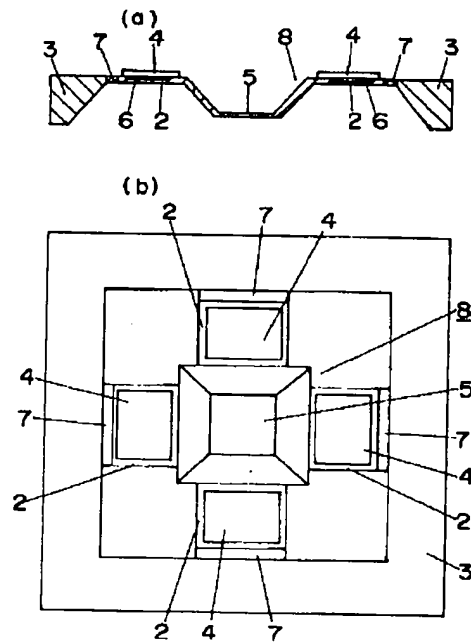
【符号の説明】

- 1 半導体マイクロアクチュエータ
- 2 可撓領域
- 3 半導体基板
- 4 薄膜
- 5 可動エレメント
- 6 加熱手段
- 7 熱絶縁構造体
- 8 可動部位

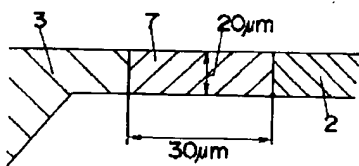
【図1】



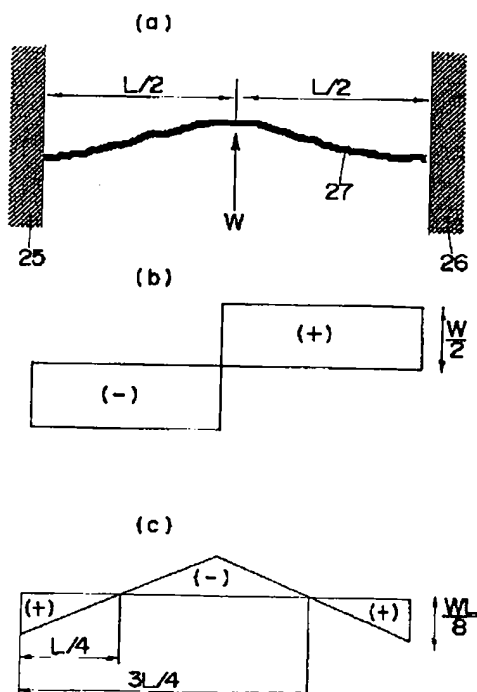
【図2】



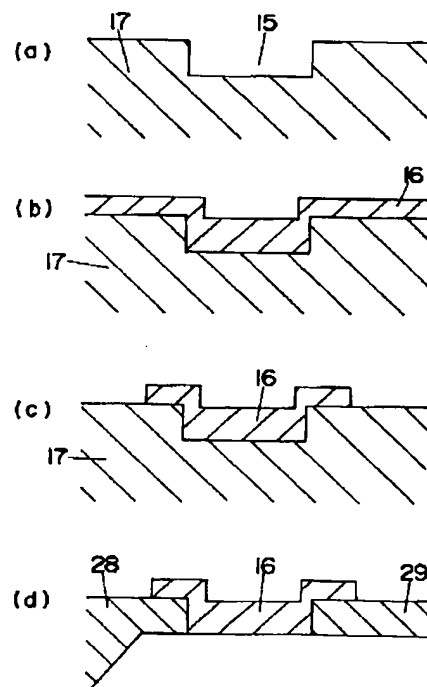
【図3】



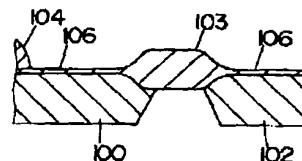
【図4】



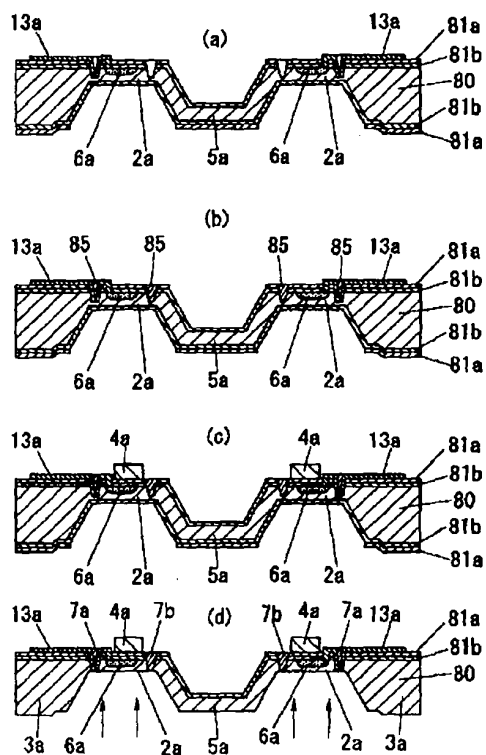
【図5】



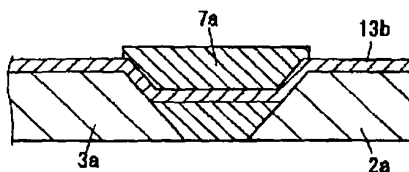
【図26】



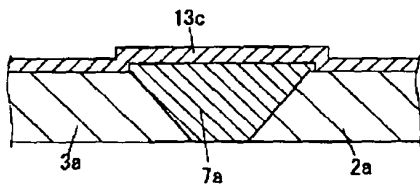
【函14】



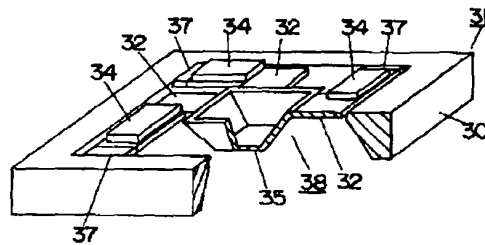
【図16】



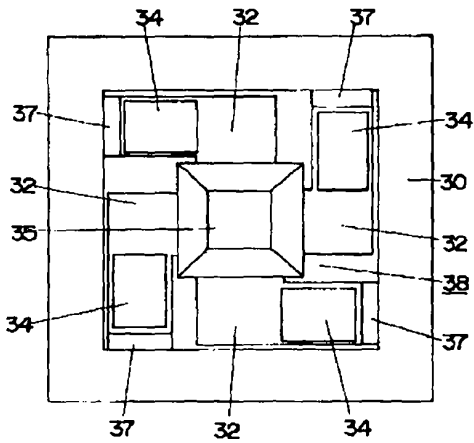
【図17】



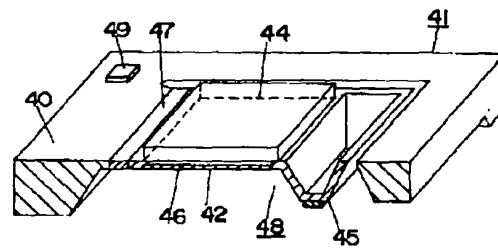
【図18】



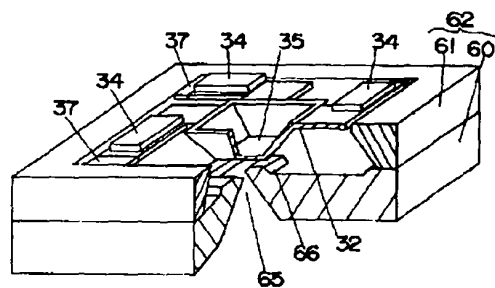
【図19】



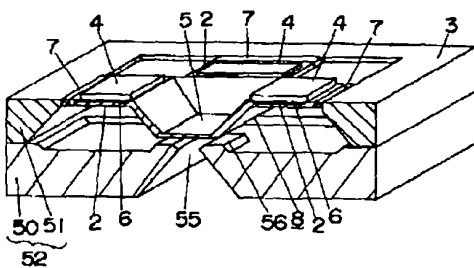
【図20】



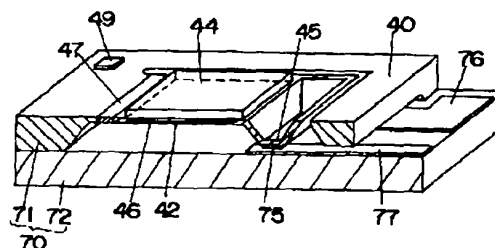
【図22】



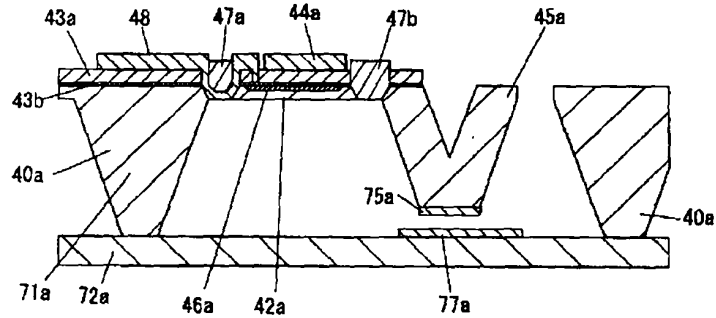
【図21】



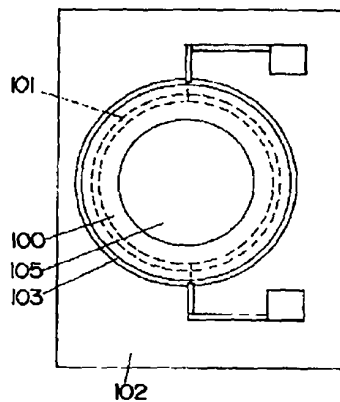
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
H01L 49/00
// H01H 61/01

識別記号

FI
H01L 49/00
H01H 61/01

テーマコード(参考)

C

(72)発明者 河田 裕志
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内
(72)発明者 鎌倉 將有
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内
(72)発明者 吉田 和司
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内

(72)発明者 片山 弘典
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内
(72)発明者 齊藤 公昭
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内
(72)発明者 藤井 圭子
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内

(2 5)

特開 2 0 0 0 - 3 1 7 8 9 7

(72) 発明者 豊田 憲治
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内

(72) 発明者 信時 和弘
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株
式会社内